

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. März 2002 (21.03.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/23720 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H03H 9/17**

(DE). **ELBRECHT, Lueder** [DE/DE]; Theodor-Dom-
bart-Strasse 1, 80805 Muenchen (DE). **MARKSTEINER,**
Stephan [DE/DE]; Cramer-Klett-Str. 33, 85579 Neu-
biberg (DE). **NESSLER, Winfried** [AT/DE]; Ulrich von
Huttenstr. 24, 81739 München (DE). **TIMME, Hans-Jo-
erg** [DE/DE]; Putzbrunner Str. 90, 85521 Ottobrunn (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/10435

(74) Anwälte: **GINZEL, Christian** usw.; Zimmermann &
Partner, Postfach 330 920, 80069 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. September 2001 (10.09.2001)

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, KR, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

Veröffentlicht:

(30) Angaben zur Priorität:
100 45 090.3 12. September 2000 (12.09.2000) DE

— mit internationalem Recherchenbericht
*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.*

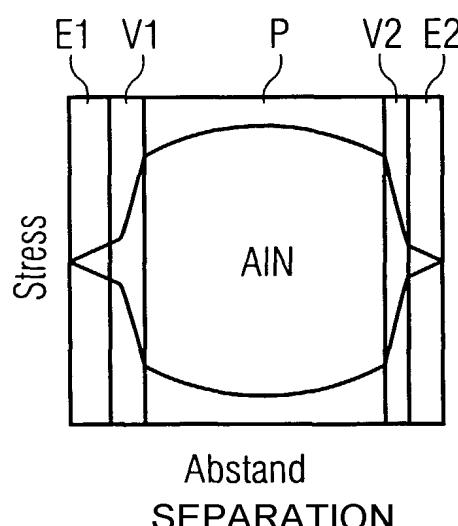
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-
Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **AIGNER, Robert**
[DE/DE]; Einsteinstr. 104/8-13, 81675 München

(54) Title: ACOUSTIC RESONATOR

(54) Bezeichnung: AKUSTISCHER RESONATOR



(57) **Abstract:** The resonator comprises a first electrode (E1), a second electrode (E2) and a piezoelectric layer (P) arranged between the above. A first acoustic compression layer (V1) is arranged between the piezoelectric layer (E1) and the first electrode (E1) with a higher acoustic impedance than the first electrode (E1).

(57) **Zusammenfassung:** Der Resonator weist eine erste Elektrode (E1), eine zweite Elektrode (E2) und eine dazwischen angeordnete piezoelektrische Schicht (P) auf. Zwischen der ersten Elektrode (E1) und der piezoelektrischen Schicht (P) ist eine erste akustische Verdichtungsschicht (V1) angeordnet, die eine höhere akustische Impedanz aufweist, als die erste Elektrode (E1).

WO 02/23720 A1

Beschreibung

Akustischer Resonator

5 Die Erfindung betrifft einen akustischen Resonator, d.h. ein Bauelement, das akustische Wellen und elektrische Spannungsänderungen ineinander umwandelt.

Ein solcher Resonator weist üblicherweise eine Schichtenfolge 10 bestehend aus zwei Elektroden und einer dazwischen angeordneten piezoelektrischen Schicht auf. Ein Bulk-Acoustic-Wave Resonator besteht beispielsweise aus einer solchen Schichtenfolge, die auf einer Membran oder einem akustischen Spiegel 15 angeordnet ist (siehe z.B. US 5,873,154). Im Bereich der so genannten Serien- und Parallelresonanz bilden sich stehende vertikale Wellen aus, wobei sich etwa eine halbe Welle entlang der gesamten Dicke der Schichtenfolge ausbreitet.

Die piezoelektrische Schicht besteht in der Regel aus einem 20 Material, wie z.B. AlN, das prozeßtechnisch schwer abscheidbar ist. Um Abscheidezeiten zu reduzieren, werden Resonatoren mit einer möglichst dünnen piezoelektrischen Schicht angestrebt.

25 Eine dünne piezoelektrische Schicht ist auch aus dem Grunde vorzuziehen, daß der Flächenbedarf des Resonators bei gleichbleibendem Impedanzniveau mit dünner werdender piezoelektrischen Schicht abnimmt, so daß ein Resonator mit dünner piezoelektrischer Schicht einen geringen Platzbedarf aufweist. Resonatoren sollten ein bestimmtes Impedanzniveau haben, um im 30 Durchlaßbereich der Filterkennlinie eine geringe Einfügedämpfung zu gewährleisten.

35 Da die Resonanzfrequenz eines Resonators durch die Dicke aller beteiligten Schichten der Schichtenfolge bestimmt wird, d.h. nicht nur durch die Dicke der aktiven piezoelektrischen Schicht sondern auch durch die Dicke der Elektroden, ist es

möglich, die Dicke der piezoelektrischen Schicht bei vorgegebener Resonanzfrequenz zu reduzieren, indem die Dicken der Elektroden erhöht werden. Wie stark sich eine Schichtdickenänderung auf die Resonanzfrequenz auswirkt, hängt von den 5 akustischen Parametern der Elektrode ab. Schwere und harte Materialien bewirken eine stärkere Frequenzabsenkung bei Schichtdickenerhöhung als leichtere und weichere Materialien.

Es ist üblich, die Elektroden aus Aluminium zu erzeugen, da 10 Aluminium CMOS-kompatibel ist, und somit der Resonator einfach herstellbar ist. Ferner weist Aluminium eine hohe elektrische Leitfähigkeit auf. Allerdings sind die akustischen Eigenschaften von Aluminium weniger vorteilhaft.

15 Diese Eigenschaften wurden im Vorfeld der Erfindung von den Erfindern untersucht. Einige daraus resultierende Ergebnisse werden im folgenden näher erläutert: Bei einer Resonanzfrequenz von beispielsweise 900MHz müßte die Dicke der piezoelektrischen Schicht ohne Elektroden etwa 5,5µm betragen. 20 Durch Vorsehen von Elektroden kann diese Schichtdicke bei gleichbleibender Resonanzfrequenz reduziert werden. Figur 1a zeigt die Abhängigkeit der Dicke der piezoelektrischen Schicht von der Dicke der Aluminiumelektroden bei der obenannten Resonanzfrequenz. Um eine Reduktion der Dicke der piezoelektrischen Schicht von 5,5µm auf 3µm zu erzielen, sind 25 ca. 1,05µm dicke Aluminiumelektroden erforderlich. Es hat sich gezeigt, daß bei solch dicken Elektroden die akustischen Eigenschaften des Resonators mangelhaft sind, da der effektive Koppelkoeffizient bei großen Dicken der Aluminiumelektroden sehr klein ist. Der Koppelkoeffizient zum Quadrat ist definiert als $K_{eff}^2 = \pi^2 * (fp/fs-1) / 4$ wobei fs die Serien- und fp die Parallel-Resonanzfrequenz bezeichnet. Figur 1b zeigt 30 die Abhängigkeit des Koppelkoeffizienten zum Quadrat von der Dicke der Aluminiumelektroden, wobei die piezoelektrische Schicht aus AlN besteht. Möchte man also die Dicke der piezoelektrischen Schicht auf 3µm bei einer Resonanzfrequenz von 35 900MHz verringern, so muß man eine erhebliche Absenkung des

Quadrats des Koppelkoeffizienten unter 0,05 in Kauf nehmen, was für Anwendungen, z.B. im GSM-Band, nicht akzeptabel ist.

Es ist bereits vorgeschlagen worden, als Material für die 5 Elektroden Wolfram einzusetzen (siehe z.B. US 5,587,620). Untersuchungen im Vorfeld der Erfindung haben folgendes ergeben: Figur 2a zeigt die Abhängigkeit der Dicke der piezoelektrischen Schicht von der Dicke von Wolframelektroden bei einer Resonanzfrequenz von 900MHz. Beim Vergleich mit Figur 1a 10 zeigt sich, daß eine Kompensation der Dickenreduktion der piezoelektrischen Schicht von 5,5µm auf 3µm mit wesentlich dünneren - nämlich ca. 300nm dicken - Elektroden erzielbar ist, wenn als Elektrodenmaterial Wolfram statt Aluminium verwendet wird. Der Grund dafür liegt in der höheren akustischen 15 Impedanz von Wolfram. Figur 2b zeigt die Abhängigkeit des Koppelkoeffizienten zum Quadrat von der Dicke der Wolframelektroden, wobei die piezoelektrische Schicht aus AlN besteht. Bei 300nm dicken Elektroden ist der Koppelkoeffizient sehr hoch, so daß der Resonator sehr gute akustische Eigen- 20 schaften aufweist.

Im Gegensatz zu den Aluminiumelektroden, weisen diese Wolframelektroden jedoch den Nachteil auf, daß der zugehörige Resonator schlechte elektrischen Eigenschaften besitzt, so daß 25 die Einfügedämpfung zu hoch ist. Der Grund dafür liegt darin, daß 300nm dicke Wolframelektroden einen zu hohen elektrischen Widerstand aufweisen.

Zur Schutz der piezoelektrischen Schicht bei der Herstellung 30 eines akustischen Resonators wird in der US 5,760,663 vorgeschlagen, eine Pufferschicht aus Siliziumnitrid zwischen der piezoelektrischen Schicht und den Elektroden vorzusehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen akustischen 35 Resonator anzugeben, der im Vergleich zum Stand der Technik eine piezoelektrische Schicht mit geringer Dicke und zugleich gute akustische und elektrische Eigenschaften aufweist.

Die Aufgabe wird gelöst durch einen akustischen Resonator mit einer ersten Elektrode, einer zweiten Elektrode und einer da- zwischen angeordneten piezoelektrischen Schicht, wobei zwi- 5 schen der ersten Elektrode und der piezoelektrischen Schicht eine erste akustische Verdichtungsschicht angeordnet ist, die eine höhere akustische Impedanz aufweist, als die erste Elek- trode.

10 Der Resonator weist also eine Schichtenfolge auf, die minde- stens aus der ersten Elektrode, der ersten Verdichtungs- schicht, der piezoelektrischen Schicht und der zweiten Elek- trode besteht. Bei Resonanz verläuft eine halbe Welle entlang der gesamten Dicke der Schichtenfolge.

15 Der Erfindung liegen die oben beschriebenen Ergebnisse der Untersuchungen und die Erkenntnis zugrunde, daß die Auswir- kung der Schichtdickenänderung einer Schicht der Schichten- folge auf die Resonanzfrequenz nicht nur von den akustischen 20 Parametern der betroffenen Schicht abhängt, sondern auch von der Lage der betroffenen Schicht zur piezoelektrischen Schicht. Schichten, die nahe an der piezoelektrischen Schicht liegen, wirken stärker als Schichten, die weiter entfernt liegen.

25 Durch das Vorsehen der ersten Verdichtungsschicht wird die Dicke der piezoelektrischen Schicht bei gleichbleibender Re- sonanzfrequenz reduziert. Das Material der ersten Verdich- tungsschicht kann so gewählt werden, daß bereits eine dünne 30 erste Verdichtungsschicht ausreicht, um die Dicke der piezo- elektrischen Schicht stark zu reduzieren. Dadurch bleibt der Koppelkoeffizient hoch, so daß der Resonator gute akustische Eigenschaften aufweist.

35 Da die erste Elektrode weiter entfernt von der piezoelektri- schen Schicht liegt als die erste Verdichtungsschicht, trägt sie nur wenig zu den akustischen Eigenschaften des Resonators

bei. Das Material der ersten Elektrode kann ohne Rücksicht auf akustische Eigenschaften so gewählt werden, daß der elektrische Widerstand klein ist, so daß der Resonator gute elektrische Eigenschaften aufweist. Beispielsweise bewirken Elektroden aus Al mit Dicken von 300-600nm, die zu einem niedrigen elektrischen Widerstand führen, nur eine leichte Verschlechterung des durch Vorsehen der ersten Verdichtungsschicht erreichten Koppelkoeffizienten, und verschieben die Resonanzfrequenz unwesentlich nach unten, was durch eine zusätzliche (erwünschte) geringe Reduktion der Dicke der piezoelektrischen Schicht wiederum ausgeglichen werden kann.

Die Erfindung ermöglicht es, die akustischen und elektrischen Eigenschaften des Resonators bei beliebiger Dicke der piezoelektrischen Schicht unabhängig voneinander zu optimieren. Ferner ist es möglich, auch bei einer geringen Dicke der piezoelektrischen Schicht gute akustische und elektrische Eigenschaften des Resonators zu erzielen.

Besonders gute akustische Eigenschaften werden erzielt, wenn das Verhältnis der akustischen Impedanz der ersten Verdichtungsschicht zur akustischen Impedanz der piezoelektrischen Schicht möglichst groß ist. Vorzugsweise ist das Verhältnis der akustischen Impedanz der ersten Elektrode zur akustischen Impedanz der ersten Verdichtungsschicht möglichst klein.

Als Materialien der ersten Verdichtungsschicht mit hoher akustischer Impedanz eignen sich insbesondere W, Mo, Pt, Ta, TiW, TiN, Ir, WSi, Au, Al₂O₃, SiN, Ta₂O₅ und Zirkon-Oxid. Die letzten vier Materialien sind Dielektrika.

Bevorzugt werden leitfähige Materialien für die Verdichtungsschicht verwendet, wobei die vorstehend aufgelisteten ersten 9 Materialien besonders bevorzugt sind. Leitfähige Materialien verhindern insbesondere die Ausbildung von Serienkapazitäten, wie sie bei dielektrischen Materialien auftreten würden.

Als Materialien der piezoelektrischen Schicht eignen sich beispielsweise AlN, ZnO, PZT, LiNbO₃.

Das Elektrodenmaterial kann so gewählt werden, daß seine Leitfähigkeit sogar ausreicht, um aus dem Elektrodenmaterial Verbindungsleitungen herzustellen. Bei der Erzeugung einer Elektrode können also gleichzeitig Verbindungsleitungen hergestellt werden. Die Elektrode kann Teil einer solchen Verbindungsleitung sein.

Das Elektrodenmaterial kann so gewählt werden, daß es für das Bonden mit Verbindungsleitungen geeignet ist. Beispielsweise dient die erste Elektrode oder die zweite Elektrode als Bondpad, auf der eine Verbindungsleitung gelötet ist.

Die Elektroden bestehen vorzugsweise im wesentlichen aus Aluminium, Titan, Silber oder Kupfer. Insbesondere Al und Cu weisen eine hohe elektrische Leitfähigkeit auf und sind darüber hinaus CMOS-kompatibel.

Zur Gewährleistung eines ausreichend geringen elektrischen Widerstands der Elektroden, sind die Elektroden vorzugsweise mindestens 200 nm dick.

Besonders gute akustische und elektrische Eigenschaften des Resonators werden erzielt, wenn neben der ersten Verdichtungsschicht auch eine zweite Verdichtungsschicht vorgesehen ist, die zwischen der zweiten Elektrode und der piezoelektrischen Schicht angeordnet ist.

Der akustische Resonator kann als Bulk-Acoustic-Wave Resonator ausgestaltet sein. Die Schichtenfolge kann auf einer Membran oder einem akustischen Spiegel angeordnet sein. Dabei kann die erste Elektrode oder die zweite Elektrode an den akustischen Spiegel oder an die Membran angrenzen. Streng genommen beeinflußt auch die Membran oder der akustische Spiegel die Resonanzfrequenz. Die Beeinflussung ist jedoch ge-

ring. Eine Berücksichtigung der Membran bzw. des Spiegels bei der Optimierung der akustischen und elektrischen Eigenschaften des Resonators ist möglich, jedoch nicht erforderlich.

- 5 Besonders bevorzugt ist es, wenn das Material der Verdichtungsschicht/en so gewählt wird, daß das Verhältnis der akustischen Impedanz der Verdichtungsschicht/en zur akustischen Impedanz der piezoelektrischen Schicht größer als 2 ist.
- 10 Weiterhin ist es bevorzugt, wenn das Material der ersten Elektrode so gewählt wird, daß das Verhältnis der akustischen Impedanz der ersten Elektrode zur akustischen Impedanz der Verdichtungsschicht/en kleiner als 1/3 ist.
- 15 Im folgenden werden zwei Vergleichsbeispiele und ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Figuren 3 bis 6 näher erläutert.

Figur 3 zeigt einen Querschnitt durch einen ersten Resonator mit einer ersten Elektrode aus Aluminium, einer piezoelektrischen Schicht und einer zweiten Elektrode aus Aluminium. Ferner ist das Streßfeld einer akustischen Welle bei Resonanz dargestellt.

25 Figur 4 zeigt einen Querschnitt durch einen zweiten Resonator mit einer ersten Elektrode aus Wolfram, einer piezoelektrischen Schicht und einer zweiten Elektrode aus Wolfram. Ferner ist das Streßfeld einer akustischen Welle bei Resonanz dargestellt.

30 Figur 5 zeigt einen Querschnitt durch einen dritten Resonator mit einer ersten Elektrode aus Aluminium, einer ersten Verdichtungsschicht aus Wolfram, einer piezoelektrischen Schicht, einer zweiten Verdichtungsschicht aus Wolfram und einer zweiten Elektrode aus Aluminium. Ferner ist das Streßfeld einer akustischen Welle bei Resonanz dargestellt.

5 Figur 6 zeigt einen Konturplot des effektiven Koppelkoeffizienten (durchgezogene Linien) sowie die Dicke der piezoelektrischen Schicht von analog zum dritten Resonator aufgebauten Resonatoren als Funktion der Dicke der Elektroden und der Verdichtungsschichten.

10 Im ersten Vergleichsbeispiel ist ein erster Resonator vorgesehen, der eine piezoelektrische Schicht P' aus AlN aufweist, die zwischen einer ersten Elektrode $E1'$ aus Aluminium und einer zweiten Elektrode $E2'$ aus Aluminium angeordnet ist. Das zugehörige Stresstfeld bei Resonanz zeigt eine starke Variation über die piezoelektrische Schicht P' (siehe Figur 3). Da die piezoelektrische Kopplung proportional zum mittleren Stresst ist, tragen Bereiche nahe der Elektroden $E1'$, $E2'$ weniger bei, als die Bereiche in der Mitte der piezoelektrischen Schicht P' .

20 Im zweiten Vergleichsbeispiel ist ein zweiter Resonator vorgesehen, der eine piezoelektrische Schicht P'' aus AlN aufweist, die zwischen einer ersten Elektrode $E1''$ aus Wolfram und einer zweiten Elektrode $E2''$ aus Wolfram angeordnet ist. Die Stresstverteilung weist einen starken Gradienten in den Elektroden $E1''$, $E2''$ auf und ist über die piezoelektrische Schicht P'' hinweg relativ konstant (siehe Figur 4). Dies führt zu einer starken Kopplung aller Bereiche der piezoelektrischen Schicht P'' . Die hohe akustische Impedanz des Wolframs „verdichtet“ sozusagen die akustische Welle in der piezoelektrischen Schicht P'' .

30 Im Ausführungsbeispiel ist ein dritter Resonator vorgesehen, der eine Schichtenfolge zum ineinander Umwandeln von akustischen Wellen und elektrischen Spannungsänderungen aufweist. Die Schichtenfolge umfaßt eine erste Elektrode $E1$ aus Aluminium, darüber eine erste Verdichtungsschicht $V1$ aus Wolfram, darüber eine piezoelektrische Schicht P aus AlN, darüber eine zweite Verdichtungsschicht $V2$ aus Wolfram und darüber eine

zweite Elektrode E2 aus Aluminium. Die Streßverteilung bei Resonanz entspricht fast der des zweiten Resonators (siehe Figur 5). Der Verdichtungseffekt ist also auch noch vorhanden, wenn der zweite Resonator mit weiteren Schichten (hier 5 Aluminium) versehen wird. Obwohl die akustische Welle im Aluminium einen geringen Gradienten hat, verdichtet das Wolfram den akustischen Streß (und somit die akustische Energie) in der piezoelektrischen Schicht. Das Wolfram dient somit als „akustische Verdichtungsschicht“.

10 Die Resonatoren der zwei Vergleichsbeispiele und des Ausführungsbeispiels sind so ausgelegt, daß sie dieselbe Resonanzfrequenz und etwa den jeweils möglichen optimalen effektiven Koppelkoeffizienten aufweisen.

15 Durch die Verdichtungsschicht wird erreicht, daß das sich in der piezoelektrischen Schicht ausbildende Streßfeld vergleichsweise homogen ist, um eine gute Kopplung zwischen elektrischem und Streßfeld zu erreichen. Dies trägt zu einem 20 höheren Koppelkoeffizienten bei. Auf die Verdichtungsschicht entfallen dagegen Bereiche geringeren Stresses, die, wenn sie in der Piezoschicht liegen würden, vergleichsweise wenig zur Kopplung beitragen würden. Durch die "Verdichtung" des Streßfeldes kann der Resonator bei gleichbleibender Resonanzfrequenz 25 insgesamt dünner ausgebildet werden.

Mit Hilfe von Figur 6 läßt sich ein Resonator mit gewünschten Randbedingungen herstellen: Als Beispiel soll ein Resonator 30 einen Koppelkoeffizienten $>0,06$ haben, und zur Reduktion der Serienwiderstände mindestens 200nm dicke Al-Elektroden haben. Folgt man der Koppelkoeffizient zum Quadrat $k_{eff}^2=0,06$ - Linie 35 bis zu jenem Punkt, bei dem die Dicke der Al-Elektroden $d_{Al}=0,2\mu m$ ist, so ergibt sich eine Dicke der Wolfram-Verdichtungsschichten von ca. 700nm und eine Dicke der piezoelektrischen Schicht von etwa $1,2\mu m$. Ferner ist erkennbar, daß bei Verdickung der Al-Elektroden auf 600nm und Reduktion der Wolfram-Verdichtungsschichten auf 650nm sowohl die Dicke

der piezoelektrischen Schicht als auch der Koppelkoeffizient näherungsweise konstant bleiben, der Serienwiderstand jedoch noch einmal erheblich reduziert werden kann. Als Vergleich: Ein äquivalenter Resonator mit Al-Elektroden ohne Verdichtungsschichten hätte eine Dicke der Al-Elektroden von ca. 900nm und eine Dicke der piezoelektrischen Schicht von ca. 3,5µm. Ein impedanzangepaßter Resonator wäre somit fast dreimal größer und bräuchte die 9-fache Menge an Aluminiumnitrid.

5

10 Nachfolgend sind akustische Impedanzen von einigen Materialen aufgelistet.

Material	akustische Impedanz in $10^6 \text{ Kg/m}^2\text{s}$
Al	17,3
W	101
AlN	34,0
Mo	63,1
Ir	98
Pt	69,7
Ta	65,3
TiW	64,2
Cu	40,6
Au	62,5
WSi	90
Cr	47,4
Al_2O_3	44,3
SiN	36,2
Ta_2O_5	38
ZnO	36
PZT	17,3
Ag	17,2

Bezugszeichenliste

5	E1, E2, E1', E2', E1'', E2''	Elektrode
	P, P', P''	piezoelektrische Schicht
	V1, V2	Verdichtungsschicht

Patentansprüche

1. Akustischer Resonator

mit einer ersten Elektrode (E1), einer zweiten Elektrode (E2)
5 und einer dazwischen angeordneten piezoelektrischen Schicht
(P),

dadurch gekennzeichnet, daß
zwischen der ersten Elektrode (E1) und der piezoelektrischen
Schicht (P) eine erste akustische Verdichtungsschicht (V1)
10 angeordnet ist, die eine höhere akustische Impedanz aufweist
als die erste Elektrode (E1).

2. Akustischer Resonator nach Anspruch 1,

bei dem das Material der ersten Verdichtungsschicht (V1) so
15 gewählt wird, daß das Verhältnis der akustischen Impedanz der
ersten Verdichtungsschicht (V1) zur akustischen Impedanz der
piezoelektrischen Schicht (P) möglichst groß ist.

3. Akustischer Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 2,
20 bei dem die erste Verdichtungsschicht (V1) im wesentlichen
aus W, Mo, Ir, Pt, Ta, TiW, TiN, Au, WSi, Cr, Al₂O₃, SiN,
Ta₂O₅ oder Zirkon-Oxid besteht.

4. Akustischer Resonator nach einem der Ansprüche 2 oder 3,
25 bei dem das Material der ersten Elektrode (E1) so gewählt
wird, daß das Verhältnis der akustischen Impedanz der ersten
Elektrode (E1) zur akustischen Impedanz der ersten Verdich-
tungsschicht (V1) möglichst klein ist.

30 5. Akustischer Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem die erste Elektrode (E1) eine höhere elektrische
Leitfähigkeit aufweist als die erste Verdichtungsschicht
(V1).

13

6. Akustischer Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die erste Elektrode (E1) und/oder die zweite Elektrode (E2) im wesentlichen aus Aluminium, Titan, Silber oder Kupfer bestehen.

5

7. Akustischer Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem zwischen der zweiten Elektrode (E2) und der piezoelektrischen Schicht (P) eine der ersten Verdichtungsschicht (V1) entsprechende zweite akustische Verdichtungsschicht (V2) angeordnet ist, die eine höhere akustische Impedanz aufweist als die zweite Elektrode (E2).

10 8. Akustischer Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die erste Verdichtungsschicht (V1) im wesentlichen aus einem leitfähigen Material besteht.

15 9. Akustischer Resonator nach Ansprache 7 oder 8, bei dem die zweite Verdichtungsschicht (V2) im wesentlichen aus einem leitfähigen Material besteht.

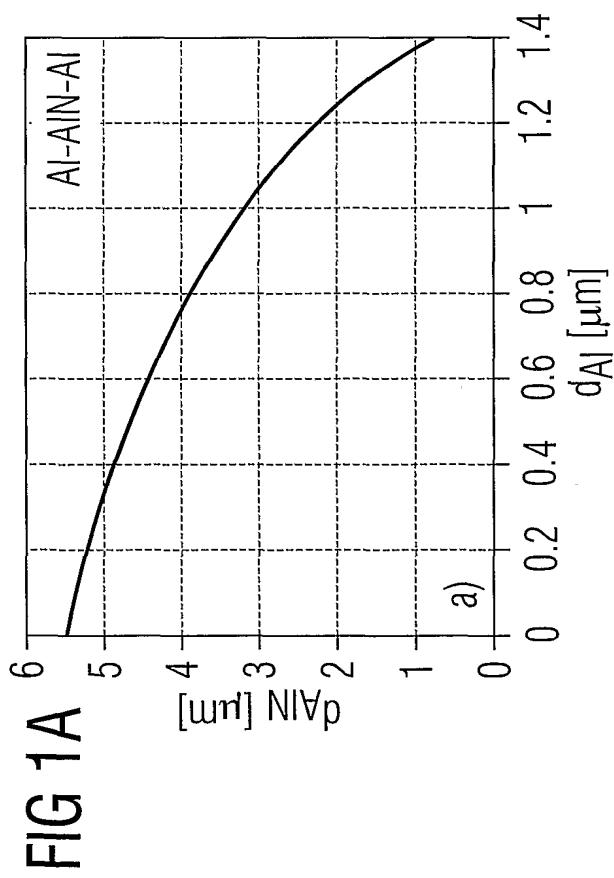


FIG 1B

Al-AlN-Al

$k_{eff}^2 [\mu m^2]$

$d_{Al} [\mu m]$

a)

$d_{Al} [\mu m]$	$k_{eff}^2 [\mu m^2]$
0	0.07
0.2	0.075
0.4	0.08
0.6	0.082
0.8	0.084
1.0	0.085
1.2	0.086
1.4	0.087

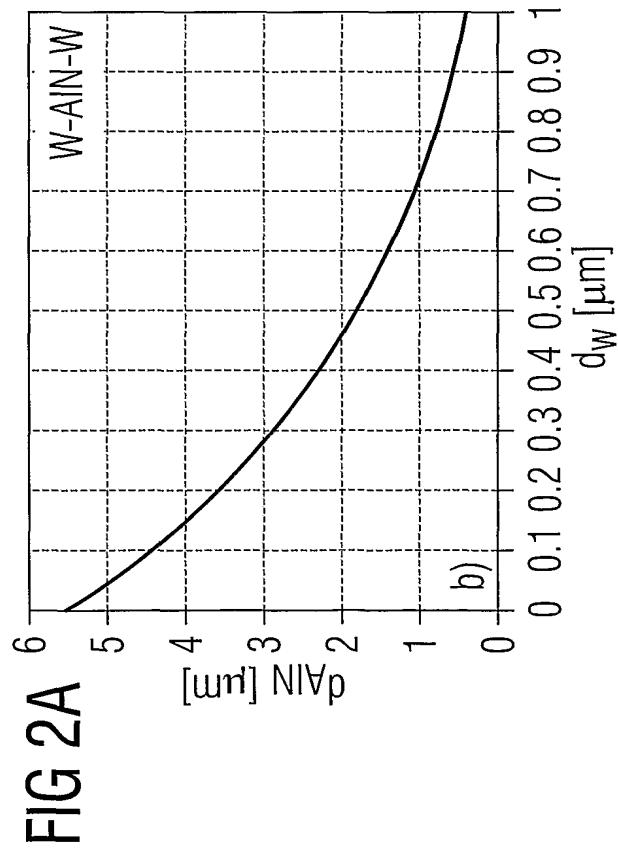


FIG 2B

W-AlN-W

$k_{eff}^2 [\mu m^2]$

$d_W [\mu m]$

b)

$d_W [\mu m]$	$k_{eff}^2 [\mu m^2]$
0	0.07
0.2	0.075
0.4	0.08
0.6	0.082
0.8	0.084
1.0	0.085
1.2	0.086
1.4	0.087

FIG 3

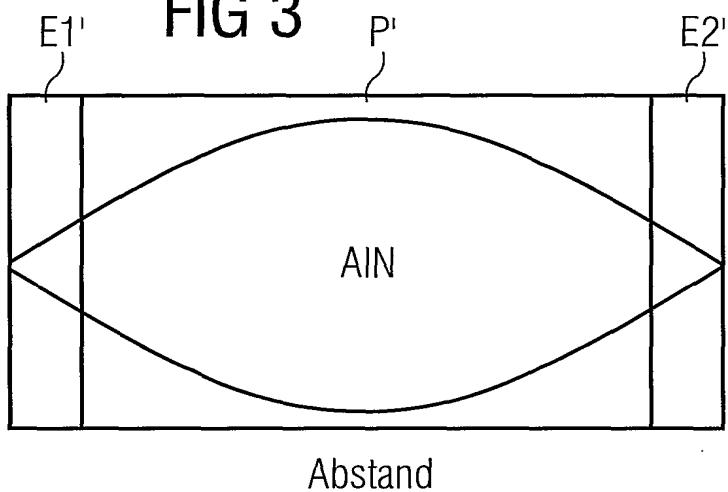


FIG 4

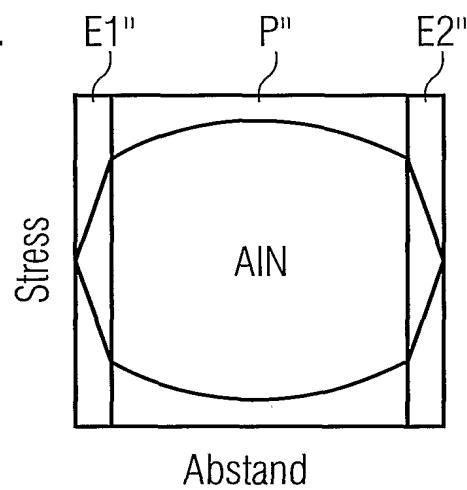
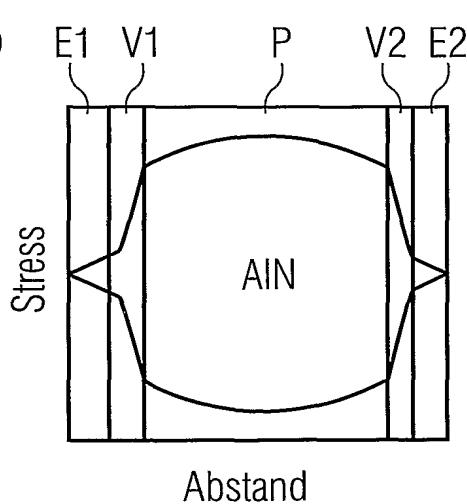
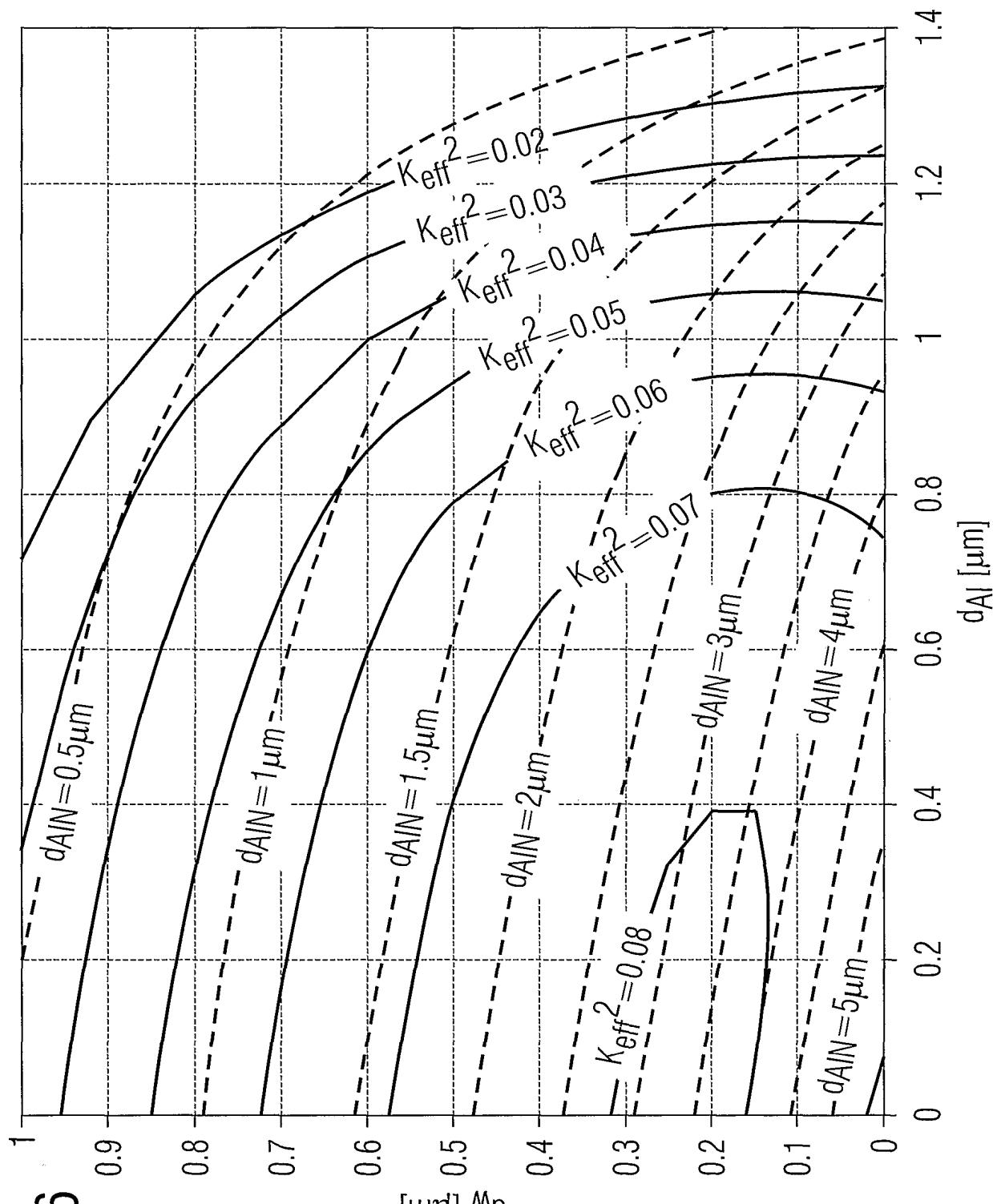


FIG 5





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

I ional Application No
PCT/EP 01/10435

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H03H9/17

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 456 850 A (INOUE TAKESHI ET AL) 26 June 1984 (1984-06-26) column 5, line 47 -column 6, line 60 -----	1
A	US 5 873 154 A (PARTANEN MEERI TALVILEI ET AL) 23 February 1999 (1999-02-23) cited in the application the whole document -----	1



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- °A° document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- °E° earlier document but published on or after the international filing date
- °L° document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- °O° document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- °P° document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- °T° later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- °X° document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- °Y° document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- °&° document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
4 December 2001	11/12/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Coppieters, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In **onal Application No**

Fr, EP 01/10435

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 4456850	A 26-06-1984	JP	1048694 B	20-10-1989
		JP	1563450 C	12-06-1990
		JP	58137317 A	15-08-1983
US 5873154	A 23-02-1999	AU	4270197 A	11-05-1998
		EP	1012889 A1	28-06-2000
		WO	9816957 A1	23-04-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/10435

A. Klassifizierung des Anmeldungsgegenstandes
IPK 7 H03H9/17

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H03H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 456 850 A (INOUE TAKESHI ET AL) 26. Juni 1984 (1984-06-26) Spalte 5, Zeile 47 -Spalte 6, Zeile 60 ----	1
A	US 5 873 154 A (PARTANEN MEERI TALVILELEI ET AL) 23. Februar 1999 (1999-02-23) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- ° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. Dezember 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Coppieters, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/10435

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4456850	A	26-06-1984	JP	1048694 B		20-10-1989
			JP	1563450 C		12-06-1990
			JP	58137317 A		15-08-1983
US 5873154	A	23-02-1999	AU	4270197 A		11-05-1998
			EP	1012889 A1		28-06-2000
			WO	9816957 A1		23-04-1998